

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-177274

(43)Date of publication of application : 24.06.2004

(51)Int.Cl.

G01R 27/02

G01N 22/00

H01L 21/66

(21)Application number : 2002-343833

(71)Applicant : TOHOKU TECHNO ARCH CO LTD

(22)Date of filing : 27.11.2002

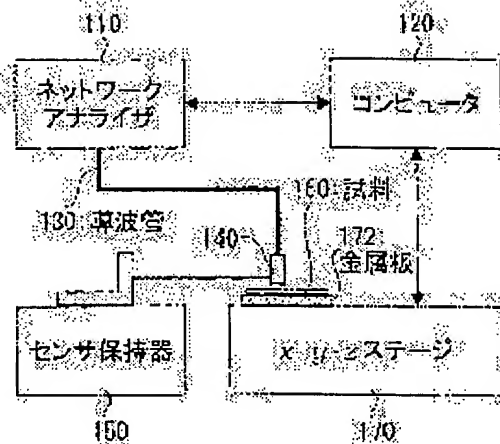
(72)Inventor : KYO AKIRA
SAKA MASUMI
ABE HIROYUKI

(54) NON-CONTACT ELECTRIC CONDUCTIVITY MEASUREMENT SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a non-contact electric conductivity measurement system by applying a microwave.

SOLUTION: The conductivity measurement system irradiates a surface of silicon wafer (test piece) 160 with the microwave generated in a network analyzer (NA) 110 through a wave guide tube 130, and a sensor 140, and the reflected microwave is received by the sensor 140. From an amplitude ratio A and a phase difference θ with respect to the reflected microwave of the silicon wafer 160 measured by the net work analyzer (NA) 110, the conductivity of the silicon wafer 160 is measured by calculating it with a personal computer 120. The personal computer 120 is not only calculating for measurement but also controlling the whole system (e.g. positioning the test piece).



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-177274

(P2004-177274A)

(43) 公開日 平成16年6月24日(2004.6.24)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO1R 27/02	GO1R 27/02 R	2G028
GO1N 22/00	GO1N 22/00 S	4M106
HO1L 21/66	GO1N 22/00 W	
	GO1N 22/00 X	
	HO1L 21/66 L	
審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)		

(21) 出願番号 特願2002-343833 (P2002-343833)

(22) 出願日 平成14年11月27日(2002.11.27)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成14年5月28日 社団法人日本非破壊検査協会開催の「平成14年度春季大会」において文書をもって発表

(71) 出願人 899000035

株式会社東北テクノアーチ

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地

(74) 代理人 100098729

弁理士 重信 和男

(74) 代理人 100105371

弁理士 加古 進

(74) 代理人 100116757

弁理士 清水 英雄

(74) 代理人 100123216

弁理士 高木 祐一

(74) 代理人 100099357

弁理士 日高 一樹

(74) 代理人 100110320

弁理士 渡邊 知子

最終頁に続く

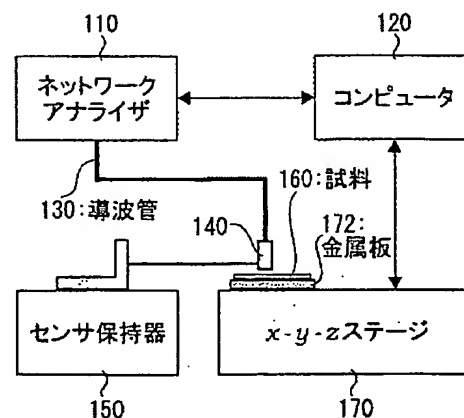
(54) 【発明の名称】 非接触導電率測定システム

(57) 【要約】

【課題】マイクロ波を用いた非接触による導電率測定システムの提供。

【解決手段】導電率測定システムでは、ネットワークアナライザ(NA)110内で生成したマイクロ波を導波管130、センサ140を経て、シリコン・ウェーハ(試料)160の表面に照射し、反射されたマイクロ波をセンサ140で受信している。ネットワークアナライザ(NA)110で求めた、シリコン・ウェーハ160の反射波に対する振幅比A及び位相差 θ から、シリコン・ウェーハ160の導電率をパソコン120で計算することで測定する。コンピュータ(パソコン)120は、測定の計算を行うばかりではなく、本測定システム全体の制御(たとえば試料の位置決め等)も行っている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

非接触導電率測定システムであって、
マイクロ波を送受信するマイクロ波送受信手段と、
送信したマイクロ波と受信した反射波の振幅比を測定する測定手段と、
測定した振幅比から、低周波の導電率を求める導電率計算手段と
を備えることを特徴とする非接触導電率測定システム。

【請求項2】

非接触導電率測定システムであって、
マイクロ波を送受信するマイクロ波送受信手段と、
送信したマイクロ波と受信した反射波の振幅比と位相差を測定する測定手段と、
測定した振幅比と位相差から、見掛けの導電率を求める導電率計算手段と、
求めた見掛けの導電率から、低周波の導電率を求める導電率校正手段と
を備えることを特徴とする非接触導電率測定システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、材料の導電率測定装置に関し、特にマイクロ波を用いた非接触による導電率測定システムに関する。

【0002】

【技術的背景】

電子デバイスに用いられる代表的な材料であるシリコン・ウェーハの品質管理及び性能評価においては導電率の計測が必要不可欠である。

従来、シリコン・ウェーハの導電率の計測方法としては四探針法が一般的である。四探針法は測定が非常に簡便という利点がある。しかし、測定時にプローブ先端をウェーハに接触させる必要があるために、プローブ先端がウェーハ表面を傷つけてしまう問題がある。さらに定量評価の際にウェーハの厚さの校正が必要である。以上の理由から四探針法ではシリコン・ウェーハの生産過程中のオンライン検査やデバイスの製作前の非破壊検査等を行うことができず、製品の少数を抜き出して検査するしかないのが現状である。

【0003】

非破壊検査が可能となるためには、非接触での導電率計測方法が必要である。非接触での導電率計測方法にはコイルを用いた手法がある。しかし、誘導コイルのインピーダンスの変化は、ウェーハの導電率だけに依存するのではなく、ウェーハの誘電率と厚さにも関係する。従って、コイルを用いた導電率の定量評価には、他の手法によるウェーハの厚さ等の測定が必要である。また空間分解能が低い問題があり、デバイス製作前のウェーハの非破壊検査には不向きである。

【0004】

近年、新しい非接触計測手法としてマイクロ波による半導体ウェーハの非破壊評価に関する研究が注目されている。少数キャリアのライフタイムの測定（非特許文献1参照）が実用化され、さらにウェーハの光導電性の評価（非特許文献2参照）やマイクロ波の吸収ピークの導電率への依存性（非特許文献3参照）等の研究も報告されている。

しかしながら、ウェーハの誘電率や厚さ等の影響から、半導体ウェーハの導電率の定量評価はまだ成功していない。

【0005】

【非特許文献1】

J. Schmidt and A. G. Aberle: Accurate Method for the Determination of Bulk Minority-Carrier Lifetimes of Mono- and Multicrystalline Silicon Wafers, Journal of Applied Physics, Vol. 81, No. 9, pp. 6186-6199, (1997)

997)。

【非特許文献2】

J. R. Niklas, W. Siegel, M. Jurisch and U. Kretzer: GaAs Wafer Mapping by Microwave-Detected Photoconductivity, Materials Science and Engineering B, Vol. 80, No. 1-3, pp. 206-209, (2001)。

【非特許文献3】

R. M. Lewis and J. P. Carini: Frequency Scaling of Microwave Conductivity in the Integer Quantum Hall Effect Minima, Physical Review B, Vol. 64, No. 7, 073310, (2001)。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、マイクロ波を用いた非接触による導電率測定システムを提供しようとするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、非接触導電率測定システムであって、マイクロ波を送受信するマイクロ波送受信手段と、送信したマイクロ波と受信した反射波の振幅比を測定する測定手段と、測定した振幅比から、低周波の導電率を求める導電率計算手段とを備えることを特徴とする。

また、非接触導電率測定システムであって、マイクロ波を送受信するマイクロ波送受信手段と、送信したマイクロ波と受信した反射波の振幅比と位相差を測定する測定手段と、測定した振幅比と位相差から、見掛けの導電率を求める導電率計算手段と、求めた見掛けの導電率から、低周波の導電率を求める導電率校正手段とを備えることを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を、図面を参照して説明する。

本発明の実施形態であるマイクロ波による導電率測定システムの構成を図1に示す。測定システムは、ネットワークアナライザ(NA)110、コンピュータ(パソコン)120、導波管130、センサ140、x-y-zステージ170からなる。NA110内で生成したマイクロ波を導波管130、センサ140を経て、シリコン・ウェーハ(試料)160の表面に照射し、反射されたマイクロ波をセンサ140で受信する。ネットワークアナライザ(NA)110で求めた、シリコン・ウェーハ160の反射波に対する振幅比A及び位相差 θ から、シリコン・ウェーハ160の導電率をパソコン120で計算することで測定する。

センサ140は、センサ保持器150とx-y-zステージ170との相對運動により、試料160の位置決めを行う。コンピュータ(パソコン)120は、測定の計算を行うばかりではなく、本測定システム全体の制御(たとえば試料の位置決め等)も行っている。なお、上述の測定システムでは、マイクロ波の振幅比や位相差の計測にネットワークアナライザ(NA)を用いているが、それに限るものではない。

【0009】

図2に開発した反射型マイクロ波集束センサの構成を示す。

使用したマイクロ波の反射ミラー141, 142の形状は楕円体面である。光学においては、楕円体内の一方の焦点Aに光源を設置すると、入射光は楕円体面で反射され、反射光はすべてもう一方の焦点Bに集まる。しかも、焦点A, Bまでの光路長が一定であるため、位相がそろふ。この原理を用いて、本発明の実施形態では、2つの反射ミラー141, 142を、焦点Bを共有するように組み合わせて、スタンドオフ距離を大きくできるよう

にして、焦点Aからのマイクロ波を焦点Cに収束している。

実際には、2つの楕円体面の1/4である反射ミラー141, 142 (図2の実線部分)を組み合わせたものとホーンアンテナ (図示せず) とを一体化して固定し、一個のセンサ140として用いている。

このセンサ140を用いることにより、従来の非集束型センサよりもマイクロ波を微小領域に集束させて照射することが可能となり、大きなスタンドオフ距離で高分解能かつ高感度に、シリコン・ウェーハを非破壊評価することができる。なお、図2では2つの楕円体面の反射ミラーを組み合わせた反射型マイクロ波集束センサの例を示したが、3つ以上の反射ミラーを同様に組み合わせてもよい。

【0010】

10

<計測原理>

上述のようなシステムにおいて、使用するマイクロ波は、周波数300MHz～300GHz (波長1m～1mm) 帯域の電磁波である。マイクロ波は伝達媒質を必要とせず空气中を良好に伝播するため、材料を非接触かつ非破壊で評価することが可能である。さらに、マイクロ波の応答は材料の誘電率、透磁率、導電率に依存するため、材質の変化を高感度に測定することが可能である。

本発明の測定システムではマイクロ波による反射測定法を用いている。これは、材料にマイクロ波を照射しその反射波の入射波に対する比率である反射率の振幅および位相を測定する方法である。

【0011】

20

マイクロ波の角周波数を ω 、材料の透磁率を μ 、誘電率を ϵ 、導電率を σ とすると、材料の特性インピーダンス η 及び空気中の特性インピーダンス η_0 は次式で決定される。

【数1】

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon - j\frac{\sigma}{\omega}}} \quad (1)$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (2)$$

30

ここで μ_0 、 ϵ_0 はそれぞれ真空中の透磁率と誘電率を表す。材料表面における反射率 Γ は次式で表せる。

【数2】

$$\Gamma_r = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \quad (3)$$

シリコン・ウェーハに高周波数のマイクロ波を照射させると、ウェーハ表面を透過したマイクロ波成分はシリコン・ウェーハ内部で大きく減衰する。ウェーハの導電率、厚さの項が一定の条件を満たすとき、ウェーハ底面からセンサに反射する量は無視できる程小さい。例えば、周波数110GHzのマイクロ波を使用すると、厚さ500 μ m、導電率200S/mのシリコン・ウェーハの底面から反射するマイクロ波の反射率は、 Γ_r の約1/10⁴になる。従って、材料表面の Γ_r だけを考えればよい。

【0012】

シリコン・ウェーハに関する測定においては、ウェーハは全て非磁性体であり、 Γ_r は式(1)、(2)を式(3)に代入することで次のように表記できる。

【数3】

$$\Gamma_r = a + jb = \frac{1 - \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}}}{1 + \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}}} \quad (4)$$

反射率 Γ_r は複素数であり、その実部を a 、虚部を b とする。式(4)の右辺において ω は定数である。そこで、式(4)の実部と虚部の式から ε を消去すると、 σ が式(5)に示すように導出され、変数 a 、 b の関数となる。これによりウェーハの導電率とマイクロ波の応答が一对一の関係式で導出できることになる。

10

【数4】

$$\sigma = \frac{4\omega\varepsilon_0 b(1-a^2-b^2)}{\{(1+a)^2 + b^2\}^2} \quad (5)$$

【0013】

<具体例>

試験片として、 n 型、面方位<100>のシリコン・ウェーハを使用した。ウェーハの寸法は直径100mm、厚さ525 μ mとした。また、導電率が9~11、50~110、166~333 S/mである3つのグループのウェーハを使用した。図2に示す反射型マイクロ波集束センサを用い、センサと試験片のスタンドオフ距離を35mmで一定とした。周波数は110GHzとし、送受信したマイクロ波の振幅比 A 及び位相差 θ を測定した。測定においては導電率の温度依存性に注意し、全ての測定を室温21℃の条件で行った。

【0014】

送受信したマイクロ波の振幅比 A 、位相差 θ を次式に代入することで、測定によるマイクロ波の反射率 Γ_m を求めた。

【数5】

$$\Gamma_m = 10^{\frac{A}{20}} * e^{j\theta} \quad (6)$$

30

Γ_m の実部 a_m 、虚部 b_m を式(5)に代入することでマイクロ波計測による σ_m を求めた。ここに σ_m は見掛けの導電率であり、その中には測定装置、センサより生じる誤差と高周波数の影響が含まれる。この誤差と影響を取り除くために校正が必要である。

【0015】

ここで、四探針法でシリコン・ウェーハ試験片の導電率を測定し、その値を σ_d とする。マイクロ波による σ_m と四探針法による σ_d を比較し、校正式を導出する。この校正式を使用することで、試験片の低周波に対する導電率 σ_l を、マイクロ波を用いて計測することができる。

校正式導出のために、グループごとの試験片をマイクロ波による非接触計測法と四探針法により計測した。マイクロ波による非接触計測法により得られた見掛けの導電率 σ_m と四探針法より得られた導電率 σ_d を、図3に示す。

図3の結果より、 σ_d を低周波に対する導電率 σ_l に置き換えて、次の校正式を得た。

【数6】

$$\sigma_l = C_1 \sigma_m + C_2 \quad (7)$$

ここで、 $C_1 = -63.69$ 、 $C_2 = -400.63$ S/mである。この校正式(7)を用いることで、マイクロ波による非接触計測法により、低周波に対する導電率 σ_l を求めることができる。

50

【0016】

図4は、校正式(7)を用いて、マイクロ波による非接触法による見掛けの導電率 σ_m を、低周波に対する導電率 σ_1 に校正したものと、四探針法より得られた導電率 σ_d とを比較したグラフである。

図4に示すように、マイクロ波による非接触計測法と四探針法により計測した導電率 σ_1 、 σ_d は、よく一致している。

なお、計測の条件やウェーハの種類が変化した場合は、校正式の C_1 および C_2 も変化するので、 C_1 および C_2 を求める必要がある。これは、2つの参照用試料を用いて、マイクロ波による非接触計測法と四探針法による計測を行うことにより、容易に求めることができる。

10

上述では、一次式の校正式を示したが、校正式はマイクロ波による非接触計測法と四探針法とで得られた導電率の関係であり、一次式に限定されるものではない。

このように、本測定システムを用いることにより、ウェーハ底面からの反射波が無視できる厚みのある場合、キャリア型を問わず、半導体のウェーハの導電率を、非接触で計測することができる。

なお、式(4)の実部と虚部の式から σ を消去すると、 ϵ が下の式に示すように導出され、変数 a 、 b の関数となる。これにより、上述と同様に、マイクロ波の応答から半導体ウェーハの誘電率も、非接触で計測することができる。

【数7】

$$\epsilon = \frac{(a^2 + b^2 - 1)^2 - 4b^2}{\{(1 + a)^2 + b^2\}^2} \epsilon_0$$

20

【0017】

<他の実施形態>

図1と同様の構成の測定システムで、センサに図5に示した高分解能の同軸ケーブルセンサ140を用いて、反射率の振幅、すなわち送信したマイクロ波と受信した反射波の振幅比のみを測定することでも、半導体ウェーハの導電率を測定することができる。

さて、一般にマイクロ波を用いた材料の非破壊評価において、センサには導波管が用いられている。しかしながら、導波管には、その周波数以下ではマイクロ波が通らなくなるといふ、周波数の下限界を表す遮断周波数が存在し、遮断周波数を使用周波数より低くするためには導波管の寸法を大きくする必要がある、それに伴い空間分解能が低下するという問題があった。これに対して、発明者が開発した同軸ケーブルセンサを使用すれば、遮断周波数が存在しなくなり、広い周波数範囲を扱うことができ、さらに空間分解能を向上させることができる。

30

同軸ケーブルセンサは、信号源から伝送されたマイクロ波を試験片に送信し、また試験片からの反射波を受信する。図5に同軸ケーブルセンサの断面を示す。センサは開口端を持つ、中心導体148と外部導体146からなる同軸ケーブル部と、同軸ケーブルに連結した同軸コネクタ145からなる。

【0018】

40

<具体例>

具体的に、試験片として、n型、直径100mm、厚さ525 μ mのシリコンウェーハを使用して測定を行った。使用した同軸ケーブルセンサの中心導体148の半径は0.15mm、外部導体146の内半径は0.47mmである。

四探針法により測定したウェーハの平均導電率は14.73S/mである。センサと試験片のスタンドオフ距離を200 μ mで一定とした。周波数は110GHzとし、反射率の振幅Aを測定した。測定は、導電率の温度依存性に注意し、全ての測定を室温25℃の条件で行った。

図6は、四探針法によるウェーハの一つの直径方向に沿った導電率の測定結果である。ウェーハの導電率は、中心部が外側に比べ若干大きい値を有していることがわかる。図7は

50

、図6と同じ直径方向に沿ってマイクロ波により測定した結果である。走査範囲は100 mm、間隔は2 mmである。図7より測定したマイクロ波の応答は、図6に示したウェーハの導電率の分布と同様な分布をしていることがわかる。図6及び図7により得られた、マイクロ波の反射率の振幅Aとシリコンウェーハの導電率の関係を図8に示す。図8より次の式を得ることができる。

【数8】

$$\sigma_1 = C_1 A + C_2 \quad (8)$$

ここで、 $C_1 = -9.1821 \text{ S/m dB}$ 、 $C_2 = -26.696 \text{ S/m}$ である。

10

【0019】

図9は、シリコン・ウェーハを本発明の測定システムで、走査間隔2 mm、走査範囲直径100 mmで走査して得られる、反射率の大きさによるマイクロ波画像である。これから、上述したような計算を行うことにより、図10に示す、シリコン・ウェーハに対する2次元の導電率分布図とすることができる。図10のような高精度の導電率分布図が得られることは、本測定システムの導電率の分解能が高く、精度がよいことを示している。なお、この図9、図10は、カラーで値を色分けしてあるものであるが、ここでは、カラーを白黒で表示してある。

なお、上述の測定システムにおいて、それぞれ楕円体面の反射鏡を組み合わせた反射型集束センサや同軸ケーブルセンサを用いているが、それぞれ、ウェーハとのスタンドオフ距離を大きくできる、分解能がよい等の利点があり、それらを考慮して、使用するセンサを選択することができる。測定システムに使用するセンサは、これらのセンサに限るものではない。

20

また、上述の具体例において、110 GHzの単一周波数を使用したか、他の周波数あるいは多数の周波数を使用してもよい。

【0020】

【発明の効果】

上述した本発明の導電率測定システムを用いることにより、半導体等の導電率を、非接触で高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【図1】導電率測定システムの構成例を示す図である。

【図2】導電率測定システムで用いている反射型マイクロ波集束センサの構成を示す図である。

【図3】見掛けの導電率 σ_m と四探針により得られた導電率 σ_d との関係を示すグラフである。

【図4】校正した低周波に対する導電率と σ_d と四探針により得られた導電率 σ_d との関係を示すグラフである。

【図5】導電率測定システムで用いている同軸ケーブルセンサの構成を示す図である。

【図6】試験片のシリコン・ウェーハを、四探針法により測定して得られた導電率 σ を示すグラフである。

40

【図7】試験片のシリコン・ウェーハを測定システムにより測定して得られた反射率の振幅を示すグラフである。

【図8】反射率の振幅と四探針により得られた導電率 σ との関係を示すグラフである。

【図9】シリコン・ウェーハの反射率の大きさによるマイクロ波画像を示す図である。

【図10】シリコン・ウェーハの導電率分布を示す図である。

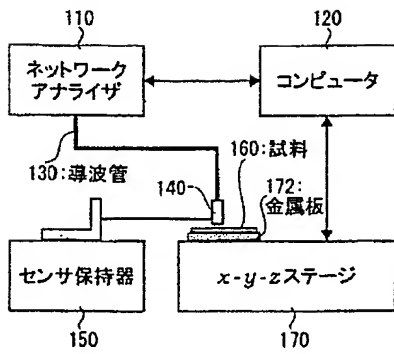
【符号の説明】

110	ネットワークアナライザ (NA)
120	コンピュータ (パソコン)
130	導波管
140, 140'	センサ

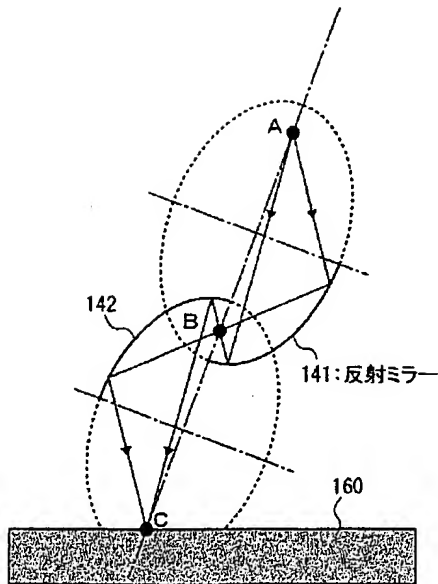
50

1 4 1, 1 4 2	反射鏡
1 4 5	コネクタ
1 4 6	外部導体
1 4 7	誘電体
1 4 8	中心導体
1 5 0	センサ保持器
1 6 0	試料 (シリコン・ウェーハ)
1 7 0	x-y-z ステージ
1 7 2	金属板

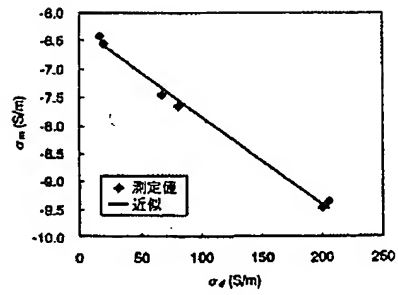
【圖 1】



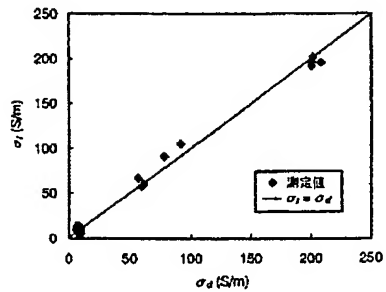
【図 2】



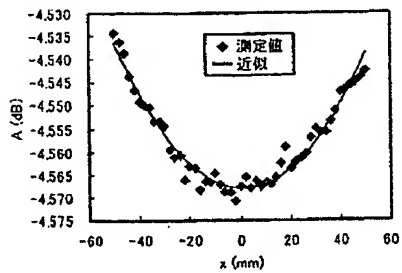
【図 3】



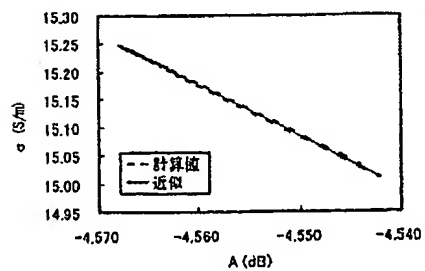
【図 4】



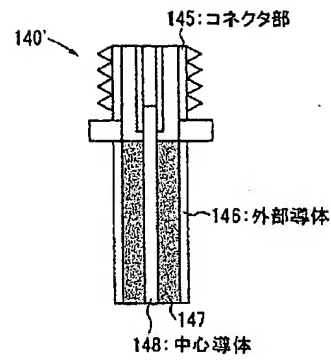
【図 7】



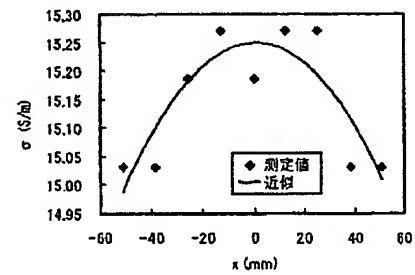
【図 8】



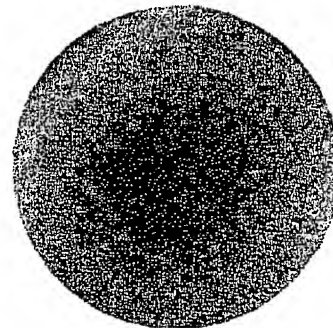
【図 5】



【図 6】

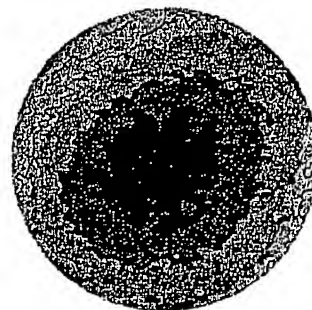



【図 9】



-4.5713 (dB)  -4.5039 (dB)

【図 10】



15.278 (S/m)  14.859 (S/m)

フロントページの続き

(72)発明者 巨 陽

宮城県仙台市青葉区国見一丁目1-2-301

(72)発明者 坂 真澄

宮城県仙台市青葉区南吉成一丁目8-1

(72)発明者 阿部 博之

宮城県仙台市太白区八木山南一丁目5-6

Fターム(参考) 2G028 BB11 CG02 CG15 DH15 FK01 GL02 HN14 MS02

4M106 AA01 AA10 BA09 CA10

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.